

**BEST AVAILABLE COPY**POWERED BY **Dialog****PLANAR TYPE GALVANOMIRROR AND ITS PRODUCTION****Publication Number:** 07-175005 (JP 7175005 A) , July 14, 1995**Inventors:**

- ASADA NORIHIRO
- ESASHI MASAKI

**Applicants**

- NIPPON SIGNAL CO LTD THE (A Japanese Company or Corporation), JP (Japan)
- ESASHI MASAKI (An Individual), JP (Japan)

**Application Number:** 05-320524 (JP 93320524) , December 20, 1993**International Class (IPC Edition 6):**

- G02B-026/10
- B41J-002/44

**JAPIO Class:**

- 29.2 (PRECISION INSTRUMENTS--- Optical Equipment)
- 29.4 (PRECISION INSTRUMENTS--- Business Machines)

**JAPIO Keywords:**

- R002 (LASERS)
- R007 (ULTRASONIC WAVES)

**Abstract:****PURPOSE:** To reduce the thickness and size of a galvanomirror.

**CONSTITUTION:** A flat plate-shaped moving plate 5 and torsion bars 6 which oscillatably support this moving plate 5 are integrally formed on a silicon substrate 2. The circumferential edge on the front surface of the moving plate 5 is provided with a plane coil 7 which generates magnetic field by energization and the central part of the front surface enclosed by this plane coil 7 is provided with a total reflection mirror 8. Further, the front and rear surfaces of the silicon substrate 2 are provided with glass substrates 3, 4. Permanent magnets 10A, 10B and 11A, 11B for making magnetic fields act on the plane coil 7 are fixed to the prescribed positions of these glass substrates 3, 4. This galvanomirror 1 is produced by the production process of a semiconductor element.

JAPIO

© 2005 Japan Patent Information Organization. All rights reserved.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-175005

(43) 公開日 平成7年(1995)7月14日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 B 26/10

B 4 1 J 2/44

識別記号

1 0 4 Z

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

B 4 1 J 3/ 00

D

審査請求 有 請求項の数 7 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号

特願平5-320524

(22) 出願日

平成5年(1993)12月20日

(71) 出願人 000004651

日本信号株式会社

東京都千代田区丸の内3丁目3番1号

(71) 出願人 000167989

江刺 正喜

宮城県仙台市太白区八木山南1丁目11番地  
9

(72) 発明者 浅田 規裕

埼玉県浦和市上木崎1丁目13番8号 日本  
信号株式会社与野事業所内

(72) 発明者 江刺 正喜

宮城県仙台市太白区八木山南1-11-9

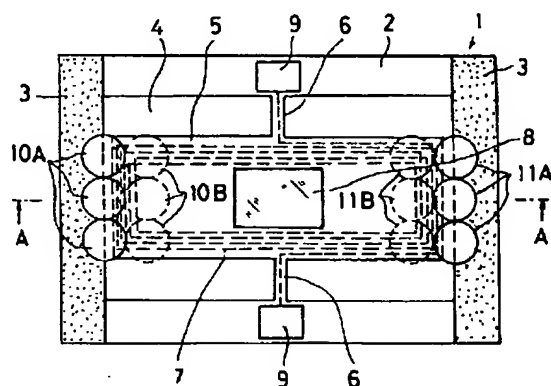
(74) 代理人 弁理士 笹島 富二雄

(54) 【発明の名称】 プレーナー型ガルバノミラー及びその製造方法

(57) 【要約】

【目的】ガルバノミラーの薄型化及び小型化を図ることを目的とする。

【構成】シリコン基板2に、平板状の可動板5と該可動板5を揺動可能に軸支するトーションバー6とを一体形成する。前記可動板5の上面周縁部に通電により磁界を発生する平面コイル7と、該平面コイル7で囲まれる上面中央部に全反射ミラー8を設ける。更に、シリコン基板2の上下面にガラス基板3、4を設け、これらガラス基板3、4の所定位置に、平面コイルに磁界を作用させる永久磁石10A、10B及び11A、11Bを固定する構成とする。また、このガルバノミラーを半導体素子の製造プロセスによって製造する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】半導体基板に、平板状の可動板と該可動板を半導体基板に対して基板上下方向に揺動可能に軸支するトーションバーとを一体形成し、前記可動板の上面周縁部に通電により磁界を発生する平面コイルを敷設し、該平面コイルで囲まれる上面中央部に反射鏡を設ける一方、半導体基板の下面に下側絶縁基板を設け、半導体基板の上面には少なくとも可動板上方を開放した上側絶縁基板を設け、前記トーションバーの軸方向と平行な可動板の対辺の平面コイル部に磁界を作用させる互いに対をなす永久磁石を前記上下絶縁基板に固定する構成としたことを特徴とするプレーナー型ガルバノミラー。

【請求項2】前記可動板が、第1のトーションバーで半導体基板に対して軸支される枠状の外側可動板と、前記第1のトーションバーと軸方向が直交する第2のトーションバーで前記外側可動板の内側に軸支される内側可動板とからなり、前記外側可動板の上面に平面コイルを設け、前記内側可動板の上面周縁部に平面コイルを設けると共に、当該平面コイルで囲まれた内側可動板中央部に前記反射鏡を設ける構成とした請求項1記載のプレーナー型ガルバノミラー。

【請求項3】半導体基板に、平板状の可動板と該可動板を半導体基板に対して基板上下方向に揺動可能に軸支するトーションバーとを一体形成し、前記可動板の上面周縁部に永久磁石を設け、該永久磁石で囲まれる上面中央部に反射鏡を設け、前記トーションバーの軸方向と平行な可動板の対辺側方の半導体基板部分に、通電により磁界を発生する平面コイルを設け、半導体基板の下面に下側絶縁基板を設け、半導体基板の上側には少なくとも可動板上方を開放した上側絶縁基板を設ける構成としたことを特徴とするプレーナー型ガルバノミラー。

【請求項4】前記可動板が、第1のトーションバーで半導体基板に対して軸支される枠状の外側可動板と、前記第1のトーションバーと軸方向が直交する第2のトーションバーで前記外側可動板の内側に軸支される内側可動板とからなり、前記内側可動板の上面周縁部に永久磁石を設けると共に、当該永久磁石で囲まれた内側可動板中央部に前記反射鏡を設ける構成とした請求項3記載のプレーナー型ガルバノミラー。

【請求項5】前記上側絶縁基板の開放部を閉塞し、上下絶縁基板と半導体基板とで囲まれる可動板収納空間を真空状態とする構成とした請求項1～4のいずれかに記載のプレーナー型ガルバノミラー。

【請求項6】半導体基板のトーションバー形成部分を除いて基板の下面から上面に向けて異方性エッチングより貫通させて前記トーションバー部分で半導体基板に揺動可能に軸支される可動板を形成する工程と、可動板上面周囲に電解めっきにより平面コイルを形成する工程と、平面コイルで囲まれた可動板中央部にアルミニウムの蒸着により反射鏡を形成する工程と、半導体基板の上下面

に陽極接合により下面絶縁基板と少なくとも可動板上方部分を開放した上面絶縁基板とを固定する工程と、トーションバー軸方向と平行な可動板の対辺に対応する上面絶縁基板部分と下面絶縁基板部分に永久磁石を固定する工程とからなるプレーナー型ガルバノミラーの製造方法。

【請求項7】半導体基板のトーションバー形成部分を除いて基板の下面から上面に向けて異方性エッチングより貫通させて前記トーションバー部分で半導体基板に揺動可能に軸支される可動板を形成する工程と、可動板上面周囲に薄膜の永久磁石を形成する工程と、前記永久磁石で囲まれた可動板中央部にアルミニウムの蒸着により反射鏡を形成する工程と、前記トーションバーの軸方向と平行な可動板の対辺側方の半導体基板部分に電解めっきにより平面コイルを形成する工程と、半導体基板の上下面に陽極接合により下面絶縁基板と少なくとも可動板上方部分を開放した上面絶縁基板とを固定する工程とからなるプレーナー型ガルバノミラーの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、例えばレーザ光のスクャニングシステム等に適用するガルバノミラーに関し、特に、その小型化を実現したプレーナー型ガルバノミラー及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】ガルバノミラーは、レーザ光を偏向走査するレーザスキャナ等に利用されるもので、その原理は、磁界中に配置した可動コイルに電流を流すと、電流と磁束とに関連して電磁力が発生して電流に比例した回転力（トルク）が生じる。このトルクとバネ力とが平衡する角度まで可動コイルが回転し、この可動コイルを介して指針を振らせて電流の有無や大小を検出するというガルバノメータの原理を利用したもので、可動コイルと一体に回転する軸に、前記指針の代わりに反射鏡を設けて構成される。

【0003】そして、従来の実用的なガルバノミラーとしては、例えば、磁界中に配置する可動コイルの代わりに可動鉄片を用い、その周囲に2つの永久磁石と4つの磁極を設けた磁性体とで磁路を構成し、前記磁性体に巻回した駆動コイルに流す電流の大小及び方向によって磁極間の磁束を変化させることにより、可動鉄片を介して反射鏡を揺動させ、レーザ光を偏光走査するようにしたものがある（例えば、共立出版株式会社「実用レーザ技術」、P210～212、1987年12月10日発行、等参照）。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところで、半導体デバイスの高集積化に代表されるマイクロエレクトロニクスの発展に伴い、様々な機器が高機能化と共に小型化しており、前記ガルバノミラーを利用したレーザスキャニ

グシステム等を適用している、例えばレーザ顕微鏡等のレーザ応用機器も同様である。そして、より一層の小型化の要求がある。

【0005】しかし、従来のガルバノミラーでは、駆動コイルが機械巻き等であることから今以上に小型化することが難しく、従って、このガルバノミラーによるレーザスキャニングシステムや、このシステムを用いるレーザ応用機器のより一層の小型化は難しい。そこで、本発明は上記の事情に鑑みなされたもので、ガルバノミラーの小型化を達成することにより、延いては、レーザスキャニングシステム及びこのスキャニングシステム利用のレーザ応用機器のより一層の小型化を図ることを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】このため第1の発明のプレーナー型ガルバノミラーでは、半導体基板に、平板状の可動板と該可動板を半導体基板に対して基板上下方向に揺動可能に軸支するトーションバーとを一体形成し、前記可動板の上面周縁部に通電により磁界を発生する平面コイルを敷設し、該平面コイルで囲まれる上面中央部に反射鏡を設ける一方、半導体基板の下面に下側絶縁基板を設け、半導体基板の上面には少なくとも可動板上方を開放した上側絶縁基板を設け、前記トーションバーの軸方向と平行な可動板の対辺の平面コイル部に磁界を作用させる互いに対をなす永久磁石を前記上下絶縁基板に固定する構成とした。

【0007】また、前記可動板が、第1のトーションバーで半導体基板に対して軸支される枠状の外側可動板と、前記第1のトーションバーと軸方向が直交する第2のトーションバーで前記外側可動板の内側に軸支される内側可動板とからなり、前記外側可動板の上面に平面コイルを設け、前記内側可動板の上面周縁部に平面コイルを設けると共に、当該平面コイルで囲まれた内側可動板中央部に前記反射鏡を設ける構成とよい。

【0008】また、第2の発明のプレーナー型ガルバノミラーでは、半導体基板に、平板状の可動板と該可動板を半導体基板に対して基板上下方向に揺動可能に軸支するトーションバーとを一体形成し、前記可動板の上面周縁部に永久磁石を設け、該永久磁石で囲まれる上面中央部に反射鏡を設け、前記トーションバーの軸方向と平行な可動板の対辺側方の半導体基板部分に、通電により磁界を発生する平面コイルを設け、半導体基板の下面に下側絶縁基板を設け、半導体基板の上面には少なくとも可動板上方を開放した上側絶縁基板を設ける構成とした。

【0009】この場合も、前記可動板が、第1のトーションバーで半導体基板に対して軸支される枠状の外側可動板と、前記第1のトーションバーと軸方向が直交する第2のトーションバーで前記外側可動板の内側に軸支される内側可動板とからなり、前記内側可動板の上面周縁部に永久磁石を設けると共に、当該永久磁石で囲まれた

内側可動板中央部に前記反射鏡を設ける構成とするとよい。

【0010】また、第1及び第2の発明のガルバノミラーにおいて、上側絶縁基板の開放部を閉塞し、上下絶縁基板と半導体基板とで囲まれる可動板収納空間を真空状態とする構成とするとよい。第1の発明のガルバノミラーの製造方法では、半導体基板のトーションバー形成部分を除いて基板の下面から上面に向けて異方性エッチングより貫通させて前記トーションバー部分で半導体基板に揺動可能に軸支される可動板を形成する工程と、可動板上面周囲に電解めっきにより平面コイルを形成する工程と、平面コイルで囲まれた可動板中央部にアルミニウムの蒸着により反射鏡を形成する工程と、半導体基板の上下面に陽極接合により下面絶縁基板と少なくとも可動板上方部分を開放した上面絶縁基板とを固定する工程と、トーションバー軸方向と平行な可動板の対辺に対応する上面絶縁基板部分と下面絶縁基板部分に永久磁石を固定する工程とからなることを特徴とする。

【0011】また、第2の発明のガルバノミラーの製造方法では、半導体基板のトーションバー形成部分を除いて基板の下面から上面に向けて異方性エッチングより貫通させて前記トーションバー部分で半導体基板に揺動可能に軸支される可動板を形成する工程と、可動板上面周囲に薄膜の永久磁石を形成する工程と、前記永久磁石で囲まれた可動板中央部にアルミニウムの蒸着により反射鏡を形成する工程と、前記トーションバーの軸方向と平行な可動板の対辺側方の半導体基板部分に電解めっきにより平面コイルを形成する工程と、半導体基板の上下面に陽極接合により下面絶縁基板と少なくとも可動板上方部分を開放した上面絶縁基板とを固定する工程とからなることを特徴とする。

【0012】

【作用】かかる構成によれば、半導体素子製造プロセスを利用して半導体基板にミラー可動部を形成したので、ガルバノミラーが従来のものに比べて極めて小型化でき、延いてはレーザ光を偏光走査するレーザスキャニングシステムの小型化を達成できるようになる。

【0013】また、可動板を、互いに直交するトーションバーで軸支する構成とすれば、レーザ光の偏光走査を2次元で行うことができる。更に、可動板の収納空間を真空封止するようにすれば、可動板の揺動抵抗をなくすることができるようになり、可動板の追従性を高めることができる。

【0014】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面に基づいて説明する。図1及び図2に第1の発明に係るガルバノミラーの第1実施例である1軸の場合の構成を示す。図1及び図2において、ガルバノミラー1は、半導体基板であるシリコン基板2の上下面に、それぞれ例えばホウケイ酸ガラス等からなる上側及び下側絶縁基板としての上側及

び下側ガラス基板3, 4を陽極接合した3層構造となっている。そして、前記上側ガラス基板3は、後述する可動板5上方部分を開放するようシリコン基板2の図1の左右端に積層されている。

【0015】前記シリコン基板2には、平板状の可動板5と、この可動板5の中心位置でシリコン基板2に対して基板上下方向に揺動可能に可動板5を軸支するトーションバー6, 6とが異方性エッチングによって一体形成されている。従って、可動板5及びトーションバー6もシリコン基板と同一材料からなっている。前記可動板5の上面周縁部には、通電により磁界を発生する銅薄膜からなる平面コイル7が絶縁被膜で覆われて設けられている。ここで、コイルは抵抗分によってジュール熱損失があり抵抗の大きな薄膜コイルを高密度に実装すると発熱により駆動力が制限されることから、本実施例では、従来公知の電解めっきによる電鍍コイル法によって前記平面コイル7を形成してある。電鍍コイル法は、基板上にスパッタで薄いニッケル層を形成し、このニッケル層の上に銅電解めっきを行って銅層を形成し、コイルに相当する部分を除いて銅層及びニッケル層を除去することで、銅層とニッケル層からなる薄膜の平面コイルを形成するもので、薄膜コイルを低抵抗で高密度に実装できる特徴があり、マイクロ磁気デバイスの小型化・薄型化に有効である。また、可動板5の平面コイル7で囲まれる上面中央部には、反射鏡としての全反射ミラー8がアルミニウム蒸着により形成されている。更に、シリコン基板2のトーションバー6, 6の側方上面には、平面コイル7とトーションバー6, 6の部分を介して電気的に接続する一対の電極端子9, 9が設けられており、この電極端子9, 9は、シリコン基板2上に電鍍コイル法により平面コイル7と同時に形成される。

【0016】上側及び下側ガラス基板3の図中左右側には、前記トーションバー6, 6の軸方向と平行な可動板

$$\phi = (M_x / G I_p) = (F' L / 8.5 \times 10^9 r^4) \times l_1 \dots (3)$$

ここで、 $M_x$  は振りモーメント、 $G$  は横弾性係数、 $I_p$  は極断面二次モーメントである。また、 $L$ 、 $l_1$ 、 $r$  は、それぞれ、トーションバーの中心軸から力点までの距離、トーションバーの長さ、トーションバーの半径であり、図3に示してある。

【0020】そして、前記磁気力 $F$ とばね反力 $F'$ が釣り合う位置まで可動板5が回動する。従って、(3)式の $F'$ に(2)式の $F$ を代入することにより、可動板5の変位角 $\phi$ は平面コイル7に流れる電流 $i$ に比例することが判る。従って、平面コイル7に流す電流を制御することにより、可動板5の変位角 $\phi$ を制御することができるので、例えば、トーションバー6, 6の軸に対して垂直な面内において全反射ミラー8に入射するレーザ光の反射方向を自由に制御でき、全反射ミラー8の変位角を連続的に反復動作させれば、レーザ光のスキニングが

5の対辺の平面コイル7部分に磁界を作用させる互いに対をなす円形状の永久磁石10A, 10Bと11A, 11Bが設けられている。互いに対をなす一方の各3個ずつの永久磁石10A, 10Bは、図2に示すように、下側がN極、上側がS極となるよう設けられ、互いに対をなす他方の各3個ずつの永久磁石11A, 11Bは、図2に示すように、下側がS極、上側がN極となるよう設けられている。

【0017】次に動作を説明する。例えば、図3に示すように、一方の電極端子9を+極、他方の電極端子9を-極として平面コイル7に電流を流す。可動板5の両側では、永久磁石10Aと10B、11Aと11Bによって、図2の矢印で示すように上下の磁石間で可動板5の平面に沿って平面コイル7を横切るような方向に磁界が形成されており、この磁界中の平面コイル7に電流が流れると、平面コイル7の電流密度と磁束密度に応じて平面コイル7、言い換えれば可動板5の両端に、電流・磁束密度・力のフレミングの左手の法則に従った方向(図3に示す)に磁気力 $F$ が作用し、この力はローレンツ力から求められる。

【0018】この磁気力 $F$ は、平面コイル7に流れる電流密度を $i$ 、永久磁石10A, 10Bと11A, 11Bによる磁束密度を $B$ とすると、下記の(1)式で求められる。

$$F = i \times B \dots (1)$$

実際には、平面コイル7の巻数 $n$ と、磁気力 $F$ が働くコイル長 $w$ (図3中に示す)により異なり、下記の(2)式のようになる。

$$F = n w (i \times B) \dots (2)$$

一方、可動板5が回動することによりトーションバー6, 6が捩じられ、これによって発生するトーションバー6, 6のばね反力 $F'$ と可動板5の変位角 $\phi$ の関係は、下記の(3)式のようになる。

できる。

【0021】次に、永久磁石による磁束密度分布の計算結果について説明する。図3は、本実施例に使用した円柱状の永久磁石の磁束密度分布計算モデルを示し、永久磁石のN極とS極それぞれの表面を微小領域 $dy$ に分割し、求める点の磁束を計算した。N極表面で形成される磁束密度を $B_n$ 、S極表面で形成される磁束密度を $B_s$

【0022】とすると、これらは円柱状の永久磁石による磁束密度分布の計算式から【数1】

【0023】、【数2】の各(4)、(5)式によって求めることができ、任意の点における磁束密度 $B$ は、 $B_n$ と $B_s$ を合成したものになり、(6)式で示される。

【0024】

【数1】

$$B_n = \frac{Br}{2\pi} \int_{-d/2}^{d/2} \frac{z[(d/2)^2 - y^2]^{1/2} dy}{[(y-y_0)^2 + z^2][(d/2)^2 + z^2 + y_0^2 - 2yoy]^{1/2}} \quad \dots (4)$$

【0025】

【数2】

$$B_s = \frac{Br}{2\pi} \int_{-d/2}^{d/2} \frac{(z+l)[(d/2)^2 - y^2]^{1/2} dy}{[(y-y_0)^2 + (z+l)^2][(d/2)^2 + (z+l)^2 + y_0^2 - 2yoy]^{1/2}} \quad \dots (5)$$

【0026】  $B = B_n + B_s \quad \dots (6)$

【0027】ここで、【数1】、【数2】の各式において、Brは永久磁石の残留磁束密度、x、y、zは永久磁石の周りの空間の任意の点を表す座標、lは永久磁石のN極面とS極面との距離、dは各極面の半径である。例えば、半径1mm、高さ1mm、残留磁束密度0.85TのSm-Co永久磁石DIANE T DM-18（商品名、セイコー電子部品製）を用いて、図5に示すように配置した永久磁石の表面に垂直な面aの磁束密度分布を計算した結果を図6に示す。

【0028】図5のように配置した場合には、磁石間の空間は、略0.3T以上の磁束密度となっている。次に、可動板5の変位量の計算結果について説明する。可動板5に形成する平面コイル7の幅を100μm、巻数を14、可動板5の厚さを20μmとし、トーションバー6の半径を25μm、長さを1mm、可動板5の幅を4mm、長さを5mmとして、(2)式と(3)式から求めた。尚、磁束密度は、前述の磁束密度分布計算で得られた0.3Tを使用した。

【0029】その結果、図7の(A)及び(B)図から電流1.5mAで2度の変位角が得られることがわかる。尚、(C)は電流と発生する熱量Qとの関係を示すもので、この時の単位面積当たりの発生熱量は13μワット/cm<sup>2</sup>となった。次に、発熱量と放熱の関係について説明する。発熱量はコイルの抵抗で発生するジュール熱であり、従って、単位時間当たりに発生する熱量Qは下記の(7)式によって表される。

【0030】  $Q = i^2 R \quad \dots (7)$

ここで、iはコイルに流れる電流、Rはコイルの抵抗である。発熱量対流による放熱量Qcは下記の(8)式で表される。

$Q_c = h S \Delta T \quad \dots (8)$

ここで、hは熱伝達係数（空気は $5 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10$

$$\Delta Y = (1/2) (4 l_1^3 f / E b t^3) \quad \dots (11)$$

ここで、Eはシリコンのヤング率である。また、可動板の重さfは下記の(12)式で表される。

$f = W L_1 t \rho g \quad \dots (12)$

ここで、ρは可動板の体積密度、gは重力加速度である。

【0036】また、可動板の撓み量ΔXは、同じく片持

-2 [ワット/cm<sup>2</sup>℃] )、Sは素子の表面積、ΔTは素子表面と空気との温度差である。

【0031】発熱部となる可動板の面積を20mm

2 (4×5) とすると、(8)式は、

$Q_c = 1.0 \Delta T \text{ [mワット/℃]} \quad \dots (8)'$

となり、数十μワット/cm<sup>2</sup>程度の発熱量ならば素子の温度上昇の問題は無視できることがわかる。尚、参考まで、輻射による放熱量Qrは下記の(9)式で表される。

【0032】  $Q_r = \epsilon S \sigma T^4 \quad \dots (9)$

ここで、εは輻射率（黒体はε=1D 一般にε<1）、Sは素子の表面積、σはステファンボルツマン定数(π<sup>2</sup>k<sup>4</sup>/60h<sup>3</sup>c<sup>2</sup>)、Tは素子の表面温度である。また、トーションバーからの伝導による放熱量Qaは下記の(10)式で表される。

【0033】

$Q_a = 2 \lambda (S / l_1) \Delta T \quad \dots (10)$

ここで、λは熱伝導率（シリコンは84ワット/mK）、Sはトーションバーの断面積、l<sub>1</sub>はトーションバーの長さ、ΔTはトーションバーの両端の温度差である。トーションバーの半径を25μm、長さを1mmとすると(10)式は、

$Q_a = 0.1 \Delta T \text{ [mワット/℃]} \quad \dots (10)'$

となる。

【0034】次にトーションバーの可動板自重による撓みと、電磁力による可動板の撓みについて説明する。図8にこれらの計算モデルを示す。トーションバーの長さをl<sub>1</sub>、トーションバーの幅をb、可動板の重さをf、可動板の厚さをt、可動板の幅をW、可動板の長さをL<sub>1</sub>とすると、トーションバーの撓み量ΔYは、片持ち梁の撓み量の計算方法を用いて、下記の(11)式のようになる。

【0035】

ち梁の撓み量の計算方法を用いて、下記の(13)式のようになる。

$\Delta X = 4 (L_1/2)^3 F / E W t^3 \quad \dots (13)$

ここで、Fは可動板の端に作用する磁気力である。そして、前記磁気力Fは(2)式のコイル長wを可動板の長さWと見做して求める。

【0037】これら、トーションバーの撓み量と可動板の撓み量の計算結果を〔表1〕に示す。尚、可動板の撓み量は、磁気力Fを30 $\mu$ Nとして計算したものである。

【0038】

〔表1〕

トーションバーと可動板の撓み量の計算結果

W	6 mm	6 mm	6 mm
L <sub>1</sub>	13mm	13mm	13mm
t	50 $\mu$ m	50 $\mu$ m	100 $\mu$ m
b	50 $\mu$ m	50 $\mu$ m	50 $\mu$ m
l <sub>1</sub>	0.5mm	1.0mm	1.0mm
f	89 $\mu$ N	89 $\mu$ N	178 $\mu$ N
$\Delta Y$	0.022 $\mu$ m	0.178 $\mu$ m	0.356 $\mu$ m
$\Delta X$	0.125 $\mu$ m	0.125 $\mu$ m	0.016 $\mu$ m

【0039】上記の〔表1〕から明らかなように、幅50 $\mu$ m、長さ1.0 mmのトーションバーの場合、幅6 mm、長さ13 mm、厚さ50 $\mu$ mの可動板による撓み量 $\Delta Y$ は、0.178 $\mu$ mであり、可動板の厚さを倍の100 $\mu$ mとしても、撓み量 $\Delta Y$ は、0.356 $\mu$ mである。また、幅6 mm、長さ13 mm、厚さ50 $\mu$ mの可動板の場合、磁気力による撓み量 $\Delta X$ は、0.125 $\mu$ mであり、可動板両端の変位量を200 $\mu$ m程度とすれば、本実施例のガルバノミラーの特性には何ら影響はない。

【0040】以上説明したように、本実施例のガルバノミラーでは、コイルの発熱による影響も無視でき、また、可動板5の揺動特性も何ら問題はなく、従来と同様の機能を発揮することができる。そして、半導体素子の製造プロセスを利用することによって、超小型で薄型のガルバノミラーとすることができる。このため、ガルバノミラーによるレーザ光のスキャニングシステムの小型化を図ることができ、延いては、このスキャニングシステムを利用するレーザ応用機器の小型化が図れる。また、半導体素子の製造プロセスで製造することで、大量生産が可能となる。

【0041】次に上記第1実施例のガルバノミラーの製造工程を、図9～図11を参照しながら説明する。厚さ300 $\mu$ mのシリコン基板101の上下面を熱酸化して酸化膜(1 $\mu$ m)102を形成する(a工程)。次に、裏面側にホトリソグラフにより貫通穴のパターンを形成し、貫通穴部分の酸化膜をエッチング除去し(b工程)、更に、可動板形成部の酸化膜を厚さ0.5 $\mu$ mまで除去する(工程c)。

【0042】次に、表面側にワックス層103を設けた後、貫通穴部分に異方性エッチングを100 $\mu$ m行う(工程d)。裏面側の可動板部分の薄い酸化膜を除去し(工程e)、貫通穴と可動板部分に異方性エッチングを100 $\mu$ m行う(工程f)。表面側のワックス層103を除去

し、表面側の酸化膜102上に、従来公知の電鍍コイル法によって平面コイル、電極端子部(図示せず)を形成し、また、アルミニウムの蒸着によって全反射ミラーを形成する(工程g)。電鍍コイル法は、シリコン基板101の表面側にニッケルのスパッタを行ってニッケル層を形成し、銅電解めっきを行って銅層を形成する。次にポジ型のレジストで平面コイル及び電極端子に相当する部分をマスクし、銅エッチング、ニッケルエッチングを順次行い、エッチング後、レジストを除去し、更に、銅電解めっきを行ってニッケル層の全周を銅で覆い平面コイル及び電極端子に相当する銅層を形成する。次に、銅層を除いた部分にネガ型のメッキレジストを塗布した後、銅電解めっきを行って銅層を厚くして、平面コイル及び電極端子を形成する。そして、平面コイル部分を例えば感光性ポリイミド等の絶縁層で覆う。平面コイルを2層にする場合は、再度ニッケルのスパッタ工程から絶縁層形成までの工程を繰り返して行えばよい。

【0043】次に、表面側にワックス層103'を設けた後、貫通穴及び可動板部分に異方性エッチングを100 $\mu$ m行い、貫通穴部分を貫通させ、可動板部分を除いてワックス層103'を除去する。この際に、上下の酸化膜102も除去する。これにより、可動板5とトーションバー(図示せず)が形成され、図1のシリコン基板2が形成される(工程h、i)。

【0044】次に、可動板部分のワックス層を除去した後、シリコン基板2の上下面に上側ガラス基板3と下側ガラス基板4をそれぞれ陽極接合によって結合する(工程j、k)。次に、上下のガラス基板3、4の所定位置に永久磁石10A、10Bと11A、11Bを取付ける(工程l)。

【0045】次に、第1の発明の第2実施例である2軸のガルバノミラーの構成例を図12～図14に示し説明する。尚、第1実施例と同一要素には同一符号を付して説明を省略する。図において、本実施例のガルバノミラー21は、シリコン基板2の可動板5が外側可動板5Aと、この外側可動板5Aの内側に軸支される平板状の内側可動板5Bとで構成されている。外側可動板5Aは、枠状に形成され、第1のトーションバー6A、6Aによってシリコン基板2に軸支されている。その上面には、シリコン基板2上面に形成した一対の外側電極端子9A、9Aに第1のトーションバー6A、6Aの一方の部分を介して電氣的に接続する平面コイル7A(図では模式的に1本線で示す)が絶縁層で被覆されて設けられている。また、内側可動板5Bは、前記第1のトーションバー6A、6Aと軸方向が直交する第2のトーションバー6B、6Bで外側可動板5Aの内側に軸支されている。その上面には、シリコン基板2に形成された内側電極端子9B、9Bに、第2のトーションバー6Bの一方から外側可動板5A部分を通り、第1のトーションバー6Aの他方側を介して電氣的に接続する平面コイル7B



(図では模式的に1本線で示す)が絶縁層で被覆されて設けられている。また、平面コイル7Bで囲まれた内側可動板5Bの中央部には、全反射ミラー8が形成されている。

【0046】そして、シリコン基板2の上下面には、図13及び図14に示すように、それぞれ例えばホウケイ酸ガラス等からなる上側及び下側ガラス基板3、4が陽極接合されている。尚、本実施例の上側ガラス基板3は、平板部の中央に角状の開口部3aを有し、全反射ミラー9上方の部分が開放された形状である。下側ガラス基板4は、第1実施例と平板状である。また、シリコン基板2に関しては、両可動板5A、5Bの揺動空間を確保するために3層として、中間層のシリコン基板に、可動部を形成する構成としている。

【0047】上側及び下側ガラス基板3、4には、2個づつ対となったそれぞれ8個づつ円柱状の永久磁石10A~13Aと10B~13Bが図示のように配置されている。上側ガラス基板3の互いに向かい合う永久磁石10A、11Aは、下側ガラス基板4の永久磁石10B、11Bとで外側可動板駆動用の磁界を発生させるものである。また、上側ガラス基板3の互いに向かい合う永久磁石12Aと13Aは、下側ガラス基板4の永久磁石12B、13Bとで内側可動板駆動用の磁界を発生させるものである。

【0048】かかる構成によれば、外側可動板5Aの平面コイル7Aのみに電流を流せば、第1のトーションバー6A、6Aを支点として外側可動板5Aが電流方向に応じて回転し、この際に内側可動板5Bも外側可動板5Aと一体に回転する。この場合、全反射ミラー8は、第1実施例と同様の動きとなる。一方、平面コイル7Aに電流を流すと共に、内側可動板5Bの平面コイル7Bにも電流を流せば、外側可動板5Aの回転方向と直角方向に、内側可動板5Bが第2のトーションバー6B、6Bを支点として回転する。この場合には、全反射ミラー8でレーザ光を偏光走査すると2次元的な走査が行え、レーザ光のスキニングの自由度が第1実施例の1軸の場合に比べて増大するという効果を有する。

【0049】次に、上記第2実施例のガルバノミラーの製造工程を図15~図18を参照して説明する。厚さ200 $\mu$ mのシリコン基板201の上下面を熱酸化して酸化膜(0.5 $\mu$ m)202を形成し、表面側にホトリソグラフにより貫通穴のパターンを形成し、貫通穴部分の酸化膜をエッチング除去する(a工程)。

【0050】次に、表面を熱酸化して貫通穴部分に薄い酸化膜(0.1 $\mu$ m)202'を形成し、裏面側に、表面側と対応する位置にホトリソグラフにより貫通穴のパターンを形成する(b工程)。次に、裏面側の貫通穴部分に異方性エッチングを170 $\mu$ m行う(c工程)。次に、表面側にニッケルのスパッタを行ってニッケル層を形成し、次いで銅のスパッタを行い銅層を形成し、ポジ型の

レジストで内側可動板の平面コイルと外側可動板の平面コイルとを互いに接触させずに交差させて電極端子に接続させるための交差部に相当する部分及び可動板5の側方のシリコン基板上の電極端子に相当する部分をマスクし、銅エッチング、ニッケルエッチングを順次行う。これにより、シリコン基板表面にニッケル層と銅層からなる前記交差部203及び電極端子部204を形成する(工程d)。

【0051】次に、交差部203の両端部及び電極端子部204の部分を除いてマスクし、感光性ポリイミド等の絶縁層205を形成する(工程e)。次に、電鍍コイル法によって外側可動板と内側可動板の平面コイルを形成する。即ち、絶縁層205上にニッケルのスパッタを行ってニッケル層を形成し、銅電解めっきを行って銅層を形成する。次にポジ型のレジストで平面コイル、電極端子やコイルと端子間の接続部分に相当する部分をマスクし、銅エッチング、ニッケルエッチングを順次行い、エッチング後、レジストを除去し、更に、銅電解めっきを行ってニッケル層の全周を銅で覆い外側と内側の各平面コイルに相当する銅層206、207を形成する。この工程によって、平面コイル部分の形成と共に工程dで形成した電極端子部204及び交差部204を厚くする(工程f)。

【0052】次に、工程eと同様にして絶縁層205を形成する(工程g)。尚、本実施例では、各平面コイルを2層に形成するため、工程gの絶縁層形成時には、内外両方の上下のコイルを接続するターミナル部分208、209をマスクして絶縁層が形成されないようにしている。次に、工程fと同様にして上層側の平面コイルに相当する銅層210、211を形成し、更に、絶縁層205を形成する。これにより、絶縁層によって絶縁被覆された平面コイル7A、7Bが形成される(工程h、i)。

【0053】次に、SiO<sub>2</sub>をスパッタして酸化膜を形成し、裏面側から異方性エッチングを行って、シリコン基板201を貫通させる。これにより、各トーションバー部分と内外可動板部分が形成される(工程j、k)。次に、表面側のSiO<sub>2</sub>をエッチングして除去した後、全反射ミラー部分の除いてマスクし、アルミニウムの蒸着によって全反射ミラー8を形成する(工程l)。

【0054】その後は、第1実施例と同様にして、3層にしたシリコン基板の上下面に上側ガラス基板と下側ガラス基板をそれぞれ陽極接合によって結合し、更に、上下のガラス基板の所定位置に各永久磁石を取付ければよい。次に、ガルバノミラーの第3実施例を図19に示し説明する。このガルバノミラーも2軸としたものである。尚、図12に示す実施例と同一要素には同一符号を付して説明を省略する。

【0055】図において、本実施例のガルバノミラー31では、シリコン基板2は1層構造としている。また、シリコン基板2に形成する可動板5等の可動部分の構成は図12と同様であり、説明を省略する。そして、本実



施例では、シリコン基板 2 の上下に陽極接合する上側ガラス基板 3 及び下側ガラス基板 4 を、図 19 に示すように、それぞれ中央部に例えば超音波加工によって形成した溝 3 A、4 A を設けた構造とし、図中矢印で示すように、シリコン基板 2 の上下面に対して陽極接合によって結合する。シリコン基板 2 に陽極接合する場合、上側ガラス基板 3 では、溝 3 A を下側にしてシリコン基板 2 側に位置するようにして接合し、下側ガラス基板 4 では、溝 4 A を上側にして同じくシリコン基板 2 側に位置するようにして接合し、これにより、可動板 5 の揺動空間を密閉する構成としている。

【0056】かかる構成によれば、上下のガラス基板 3、4 をシリコン基板 2 に陽極接合した状態では、可動板 5 の上下方向に、溝 3 A、4 A の深さ分の空間ができ、シリコン基板 2 を 3 層構造としなくとも可動板 5 の揺動空間を確保できるようになる。更に、この実施例では、可動板 5 の揺動空間が、上下のガラス基板 3、4 とシリコン基板 2 とによって密閉されており、この密閉空間を真空状態とする。これにより、可動板 5 の回動動作に対する空気抵抗がなくなり、可動板 5 の応答性が向上する。

【0057】尚、図 1 及び図 2 に示す 1 軸のガルバノミラーに関しても、上記第 3 実施例と同様の上側ガラス基板を用いて、可動板の揺動空間を密閉にして真空状態とするように構成してもよいことは言うまでもない。次に、図 20 に第 2 の発明に係るガルバノミラーの実施例を示し説明する。尚、上記の各実施例と同一要素には同一符号を付して説明を省略する。

【0058】図 20 において、本実施例のガルバノミラー 41 では、シリコン基板 2 の内側可動板 5 B に、全反射ミラー 8 を囲むようにして、棒状に薄膜の永久磁石 42 を形成してある。一方、可動板 5 の側方周囲のシリコン基板 2 上面には、外側可動板 5 A を駆動するための平面コイル 7 A、7 A と、内側可動板 5 B を駆動するための平面コイル 7 B、7 B が相対する位置に形成されている。また、シリコン基板 2 の上下面に陽極接合する上側及び下側ガラス基板 3、4 は、図 19 に示す実施例のものと同様で、それぞれ、可動板 5 の揺動空間を確保するための溝 3 A、4 A を設けた構造である。

【0059】以上のように、薄膜の永久磁石 42 を可動板側に設け、平面コイル 7 A、7 B をシリコン基板 2 側に設ける構成としても、前述の各実施例と同様の作用効果を奏することができる。更に、第 1 の発明に係る実施例と違って可動板にコイルを設けていないので、発熱に関する問題は生じない。また、薄膜の磁石を用いているので、可動板の動作が鈍くなると言うことはなく、可動板だけの封止も可能である。また、この場合には、永久磁石を半導体素子製造技術で一体化して形成するようにしたので、より一層小型化できると共に、永久磁石の設置工程が容易となり、ガルバノミラーの製造が容易とな

る等の利点がある。

【0060】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、シリコン基板に、可動板、この可動板を揺動可能に軸支するトーションバー、平面コイル及び反射鏡を形成し、シリコン基板の上下の絶縁基板に永久磁石を設ける構成としたので、ガルバノミラーを半導体素子の製造技術を用いて形成でき、従来に比べてガルバノミラーを極めて薄型化及び小型化することができる。従って、ガルバノミラーを用いた光のスキヤニングシステムの小型化を図ることができ、延いては、レーザ光応用機器の小型化を達成できる。

【0061】また、可動板の揺動空間を密閉空間として真空封止する構成とすれば、空気抵抗をなくすことができ、可動板の応答性を向上できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】第 1 の本発明に係るガルバノミラーの第 1 実施例を示す構成図

【図 2】図 1 の A-A 線矢視断面図

【図 3】同上第 1 実施例のガルバノミラーの動作原理を説明する図

【図 4】同上第 1 実施例の永久磁石による磁束密度分布の計算モデル図

【図 5】計算した磁束密度分布位置を示す図

【図 6】図 5 に示す位置の磁束密度分布の計算結果を示す図

【図 7】可動板の変位量と電流量との計算結果を示すグラフ

【図 8】トーションバー及び可動板の撓み量の計算モデル図

【図 9】同上第 1 実施例の製造工程の説明図

【図 10】図 9 に続く製造工程の説明図

【図 11】図 10 に続く製造工程の説明図

【図 12】第 1 本発明に係るガルバノミラーの第 2 実施例の構成を示す平面図

【図 13】図 11 の B-B 線矢視断面図

【図 14】図 11 の C-C 線矢視断面図

【図 15】同上第 2 実施例の製造工程の説明図

【図 16】図 15 に続く製造工程の説明図

【図 17】図 16 に続く製造工程の説明図

【図 18】図 17 に続く製造工程の説明図

【図 19】第 1 の発明に係るガルバノミラーの第 3 実施例の構成を示す斜視図

【図 20】第 2 の発明に係るガルバノミラーの実施例の構成を示す斜視図

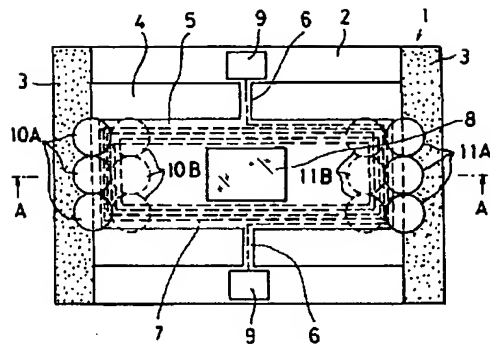
【符号の説明】

- |               |         |
|---------------|---------|
| 1, 21, 31, 41 | ガルバノミラー |
| 2             | シリコン基板  |
| 3             | 上側ガラス基板 |
| 4             | 下側ガラス基板 |

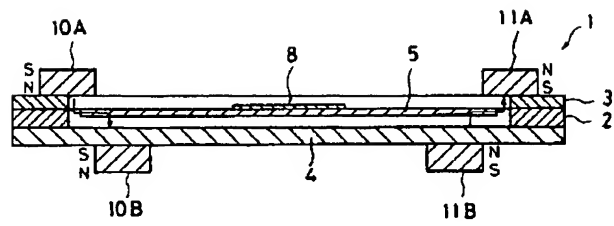
5 可動板  
6 トーションバー  
7 平面コイル

8 全反射ミラー  
10A~13A, 10B~13B, 31 永久磁石

【図1】

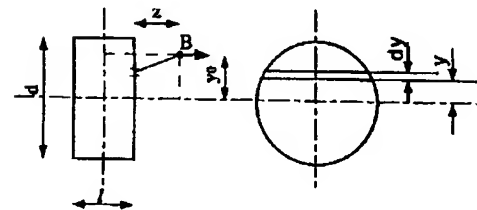
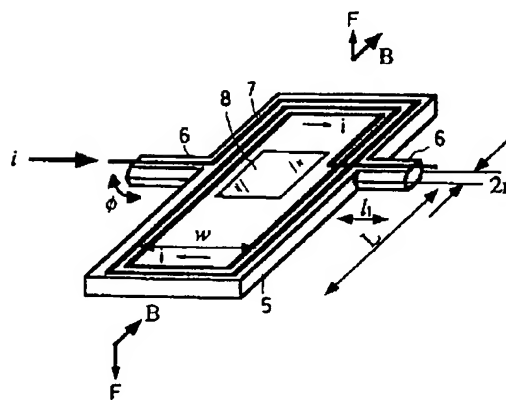


【図2】

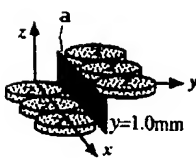


【図4】

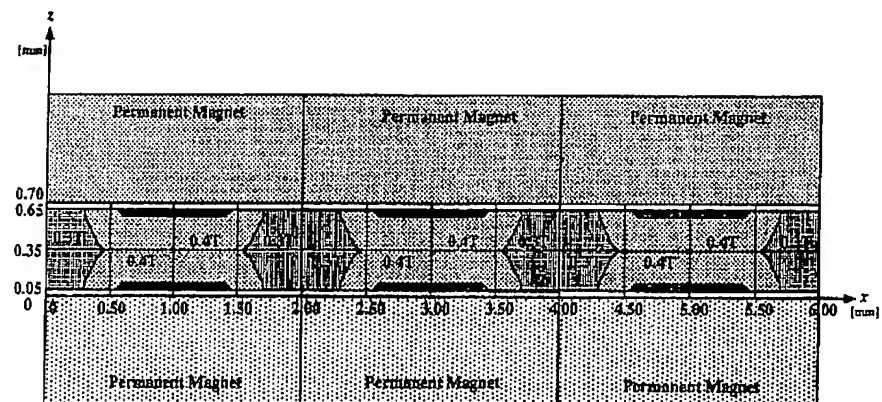
【図3】



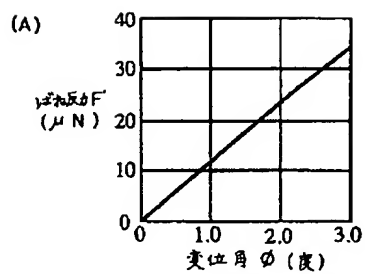
【図5】



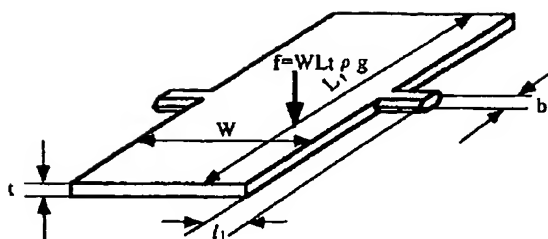
【図6】



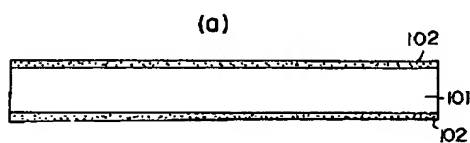
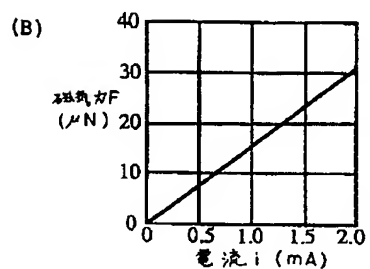
【図 7】



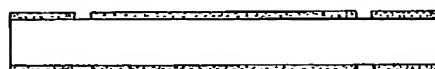
【図 8】



【図 9】



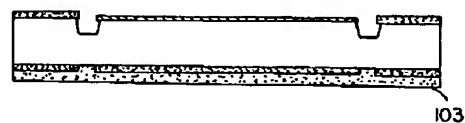
(b)



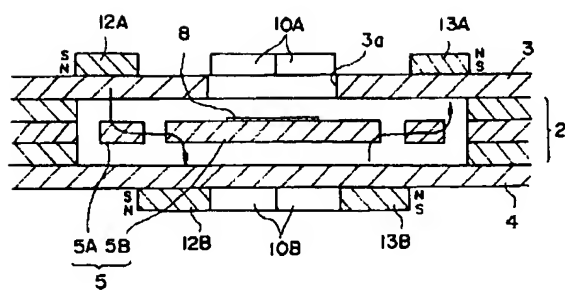
(c)



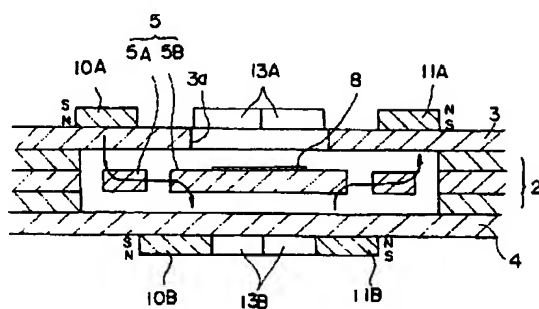
(d)



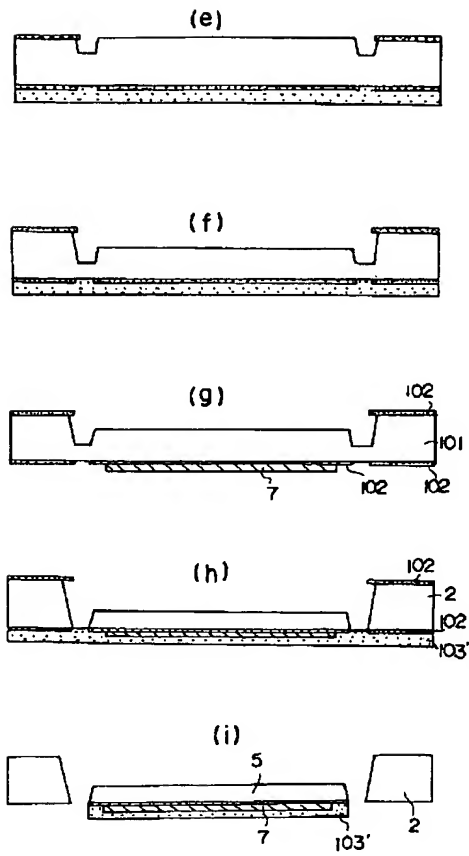
【図 13】



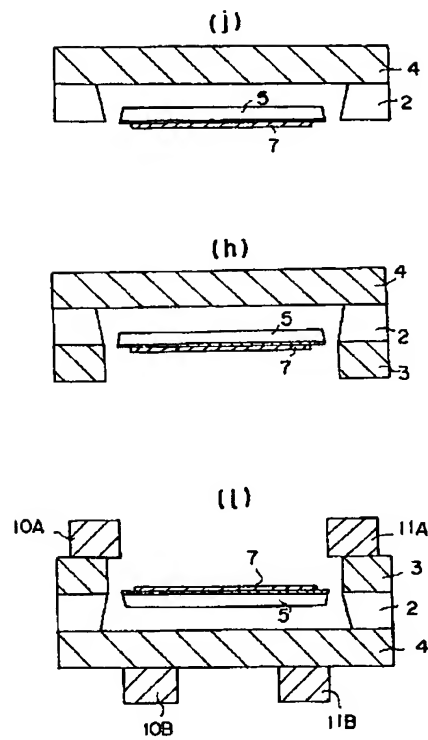
【図 14】



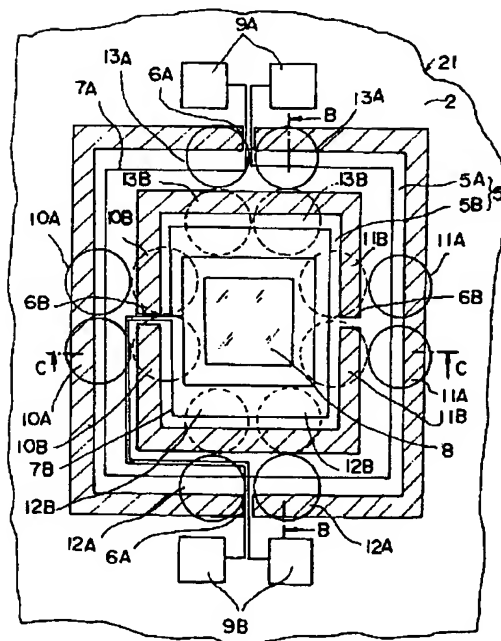
【図10】



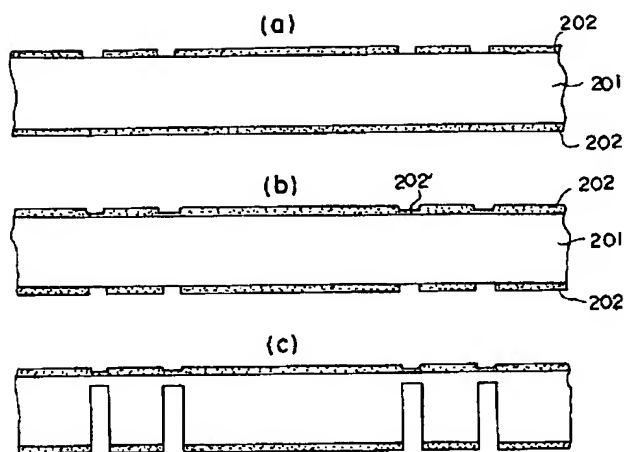
【図11】



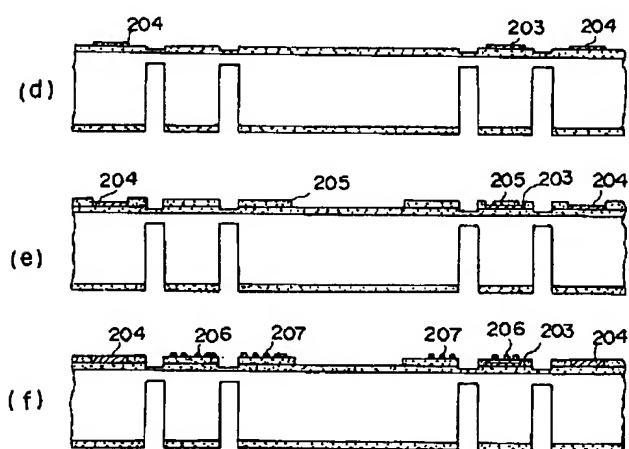
【図12】



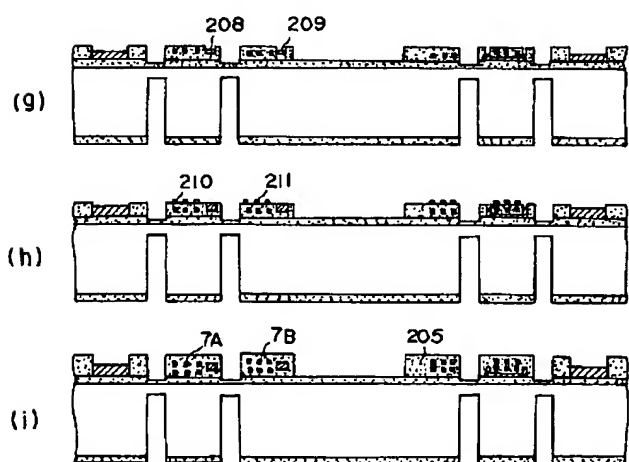
【図15】



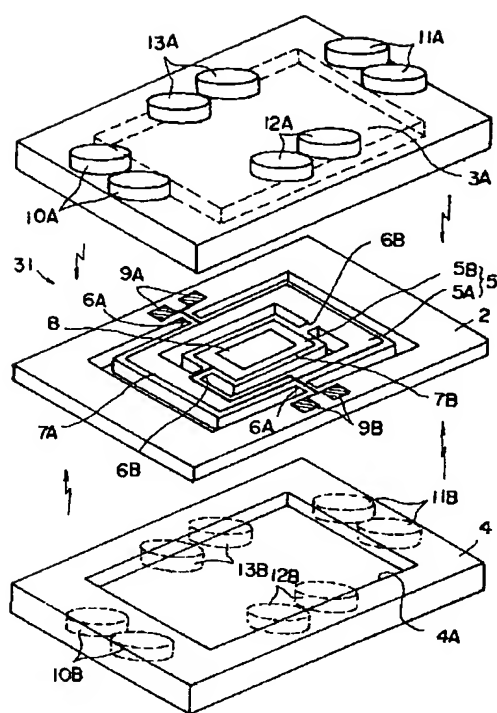
【図16】



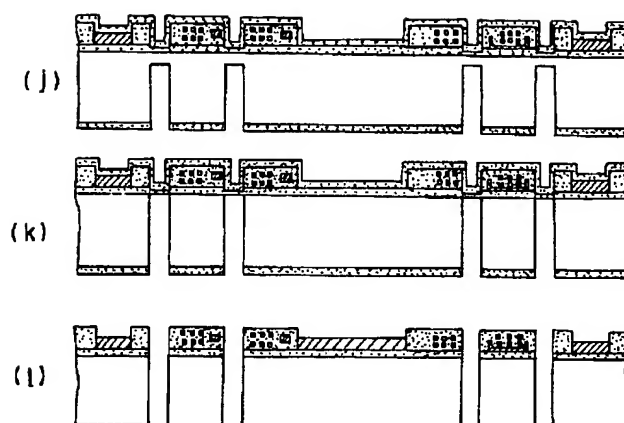
【図17】



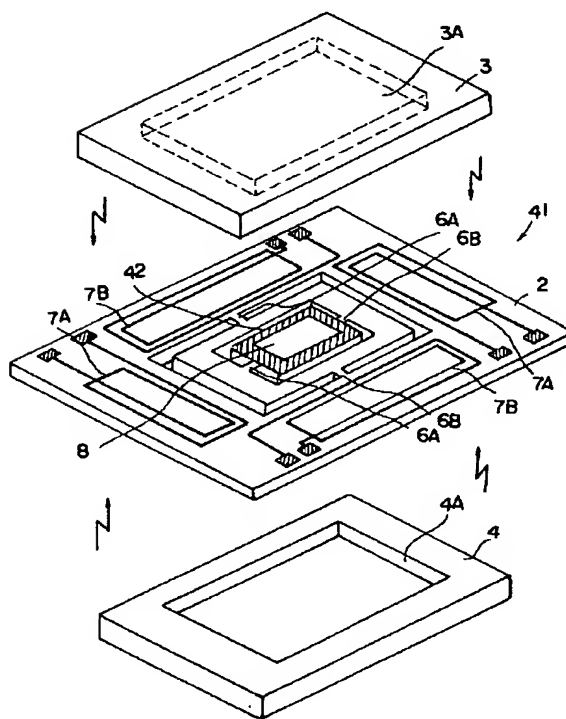
【図19】



【図18】



【図20】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**